



## Multimedialne aplikacje wspomagające proces dydaktyczny - dobór materiałów inżynierskich na wybrane elementy silnika spalinowego

J. Rakoczy<sup>a</sup>, B. Ziębowicz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Studenckie Koło Naukowe Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych  
e-mail: jakub.rakoczy@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów  
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
e-mail: boguslaw.ziebowicz@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono przykład doboru materiałów na wybrane elementy silnika tłokowego przy użyciu wspomaganie komputerowego.

**Abstract:** The paper presents an example of materials selection for chosen elements of a piston engine using computer aided methods.

**Słowa kluczowe:** komputerowe wspomaganie, dobór materiałów inżynierskich, silnik spalinowy

### 1. WSTĘP

Tłokowe silniki spalinowe są dziś najpopularniejszymi jednostkami napędowymi samochodów. Ich kluczowymi elementami są kadłub oraz głowica, stanowiące zamkniętą przestrzeń, w której znajdują się główne ruchome elementy silnika – mechanizmy korbowy i rozrządu. Materiałom stosowanym do budowy tych elementów tłokowego silnika spalinowego stawiane są bardzo wysokie wymagania, dlatego ogromnie ważnym elementem projektowania kadłubów oraz głowic jest odpowiedni dobór materiałów inżynierskich na te podzespoły [1-5].

W doborze materiałów świetnie sprawdzają się komputerowe systemy w postaci baz danych oraz programów komputerowych. Programy tego typu przyspieszają oraz optymalizują proces projektowania danego elementu. Wspomagając dobór odpowiednich materiałów inżynierskich obniżają całkowite koszty produkcji oraz przyczyniają się do wyeliminowania błędów ludzkich [6-8].

Celem niniejszej pracy jest opracowanie programu komputerowego, wspomagającego dobór materiałów inżynierskich, stosowanych do budowy kadłubów oraz głowic tłokowych silników spalinowych. Program taki daje poglądowy obraz tego, w jaki sposób nowoczesne rozwiązania informatyczne mogą wspomagać procesy projektowania. Jest także doskonałym narzędziem dydaktycznym wspomagającym proces nauczania, zarówno inżynierii materiałowej, jak i projektowania inżynierskiego.

## 2. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE DOBORU MATERIAŁÓW

W ramach pracy własnej dokonano analizy materiałów inżynierskich stosowanych do budowy kadłubów oraz głowic tłokowych w silniku spalinowym. Dokonano analizy porównawczej własności tych materiałów ze względu na ich istotność a następnie porównano te materiały ze względu na ich wybrane własności. Kierując się wynikami takiej analizy do opracowania programu wybrano osiem żeliw stopowych stosowanych do budowy kadłubów oraz osiem odlewniczych stopów aluminium stosowanych do budowy głowic. W dalszej części pracy opracowano program komputerowy wspomagający dobór materiałów inżynierskich stosowanych na wyżej wymienione elementy silnika spalinowego.

### 2.1. Porównanie materiałów stosowanych do budowy kadłubów oraz głowic tłokowych silników spalinowych

W celu wytypowania optymalnych materiałów stosowanych do budowy kadłubów, wzięto pod uwagę następujące żeliwa stopowe: ZsSi5, ZbCr28, ZlSi15, ZlNi15Cu6Cr28, ZsNi22, ZsNi20Cr3, ZlNi, ZlNi1,8, ZlNi1,8Cr, ZbNi4,2Cr2, ZbNi2,2Cr2,1Cu2,4, ZsNi0,8CuCr, ZlCu1,0, ZlCu1,6, ZlMo0,8CrV, ZlTiV oraz następujące odlewnicze stopy aluminium: EN AC-AlCu4MgTi, EN AC-AlSi7Mg, EN AC-AlSi7Mg0,3, EN AC-AlSi7Mg0,6, EN AC-AlSi6Cu4, EN AC-AlSi5Cu1Mg, EN AC-AlSi9Cu3(Fe), EN AC-AlSi11Cu2(Fe), EN AC-AlSi8Cu3, EN AC-AlSi7Cu3Mg, EN AC-AlSi9Cu1Mg, EN AC-AlSi9Cu3(Fe)(Zn), EN AC-AlSi7Cu2, EN AC-AlSi12(Cu), EN AC-AlSi12Cu1(Fe).

Dążąc do wybrania optymalnych materiałów stosowanych do budowy kadłubów żeliwa stopowe oraz odlewnicze stopy aluminium porównano ze względu na najważniejsze własności, brane pod uwagę podczas projektowania tych elementów tłokowych silników spalinowych. W tabelicy 1 przedstawiono analizę wybranych własności żeliw stopowych ze względu na ich istotność.

Tablica 1.  
Analiza własności wybranych żeliw stopowych

| Własności    | $R_m$    | $R_{0,2}$ | A         | HB        | $\zeta$   |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $R_m$        | /        | 0         | -1        | -1        | -1        |
| $R_{0,2}$    | 0        | /         | -1        | -1        | -1        |
| A            | 1        | 1         | /         | 1         | 1         |
| HB           | 1        | 1         | -1        | /         | 0         |
| $\zeta$      | 1        | 1         | -1        | 0         | /         |
| <b>Suma:</b> | <b>3</b> | <b>3</b>  | <b>-4</b> | <b>-1</b> | <b>-1</b> |

Tablica 2 przedstawia analizę wybranych własności odlewniczych stopów aluminium ze względu na ich istotność.

Tablica 2.  
Analiza własności odlewniczych stopów aluminium

| Własności        | R <sub>m</sub> | R <sub>0,2</sub> | A         | HB        | λ         |
|------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| R <sub>m</sub>   |                | 0                | -1        | -1        | -1        |
| R <sub>0,2</sub> | 0              |                  | -1        | -1        | -1        |
| A                | 1              | 1                |           | 1         | 1         |
| HB               | 1              | 1                | -1        |           | 0         |
| λ                | 1              | 1                | -1        | 0         |           |
| <b>Suma:</b>     | <b>3</b>       | <b>3</b>         | <b>-4</b> | <b>-1</b> | <b>-1</b> |

## 2.2. Wybór materiałów stosowanych do budowy kadłubów oraz głowic tłokowych silników spalinowych

Ponieważ liczba dostępnych obecnie materiałów jest bardzo duża, konieczny jest ich poprawny dobór na elementy konstrukcyjne lub funkcjonalne. Doborem tym powinna kierować wielokryterialna optymalizacja.

Po wstępnej analizie żeliw stopowych ze względu na ich najważniejsze własności, do opracowania programu komputerowego wybrano osiem gatunków żeliw stopowych: ZINi15Cu6Cr28, ZsNi20Cr3, ZINi, ZINi1,8Cr, ZsNi0,8CuCr, ZICu1,0, ZICu1,6, ZITiV.

Na rys. 1 przedstawiono wykresy zawierające porównanie własności żeliw stopowych (gatunki żeliw stopowych wybranych do opracowania programu, zaznaczono na słupkach z deseniem, kolejność materiałów zgodna z podaną w punkcie 2.1).

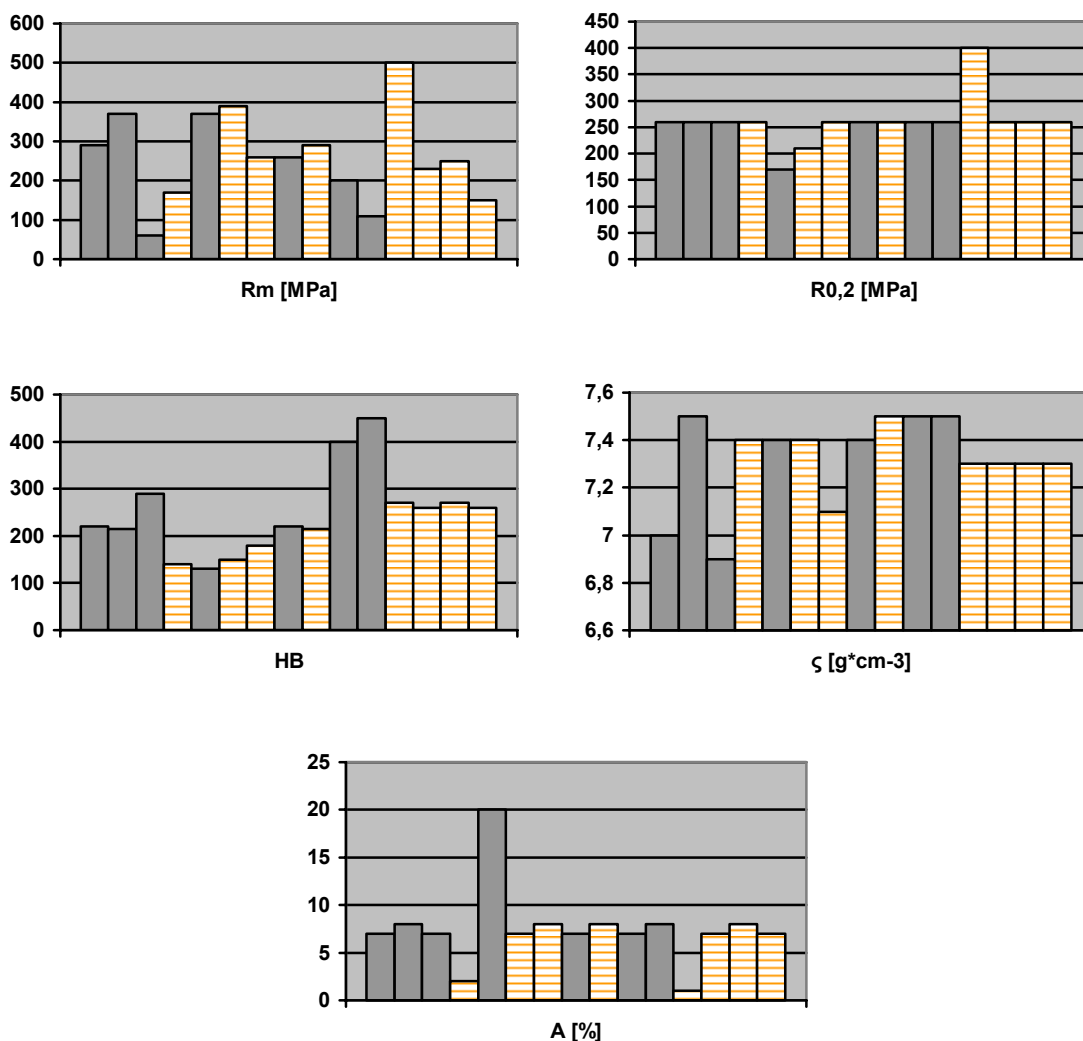
Wybrane materiały cechują się dosyć dużą gęstością oraz dobrymi własnościami wytrzymałościowymi takimi, jak wytrzymałość na rozciąganie oraz granica plastyczności. W większości wykazują się także dużą twardością.

Po wstępnej analizie odlewniczych stopów aluminium ze względu na ich najważniejsze własności, do opracowania programu komputerowego wybrano osiem gatunków stopów aluminium: EN AC-ALSi5Cu1Mg, EN AC-ALSi9Cu3(Fe), EN AC-ALSi11Cu2(Fe), EN AC-ALSi7Cu3Mg, EN AC-ALSi9Cu1Mg, EN AC-ALSi9Cu3(Fe)(Zn), EN AC-ALSi7Cu2, EN AC-ALSi12(Cu).

Na rys. 2 przedstawiono wykresy zawierające porównanie własności odlewniczych stopów aluminium (gatunki stopów wybranych do opracowania programu, zaznaczono na słupkach z deseniem, kolejność materiałów zgodna z podaną w punkcie 2.1).

Wybrane materiały wykazują się bardzo dobrą przewodnością cieplną. Cechuje je także dosyć wysoka twardość oraz niezłe parametry wytrzymałościowe takie, jak wytrzymałość na rozciąganie oraz granica plastyczności.

W tablicach 3 i 4 przedstawiono wybrane do opracowania programu komputerowego gatunki żeliw stopowych oraz odlewniczych stopów aluminium wraz z ich podstawowymi własnościami, które według wstępnej analizy najlepiej nadają się do budowy kadłubów oraz głowic tłokowych silników spalinowych, wraz z ich podstawowymi własnościami.

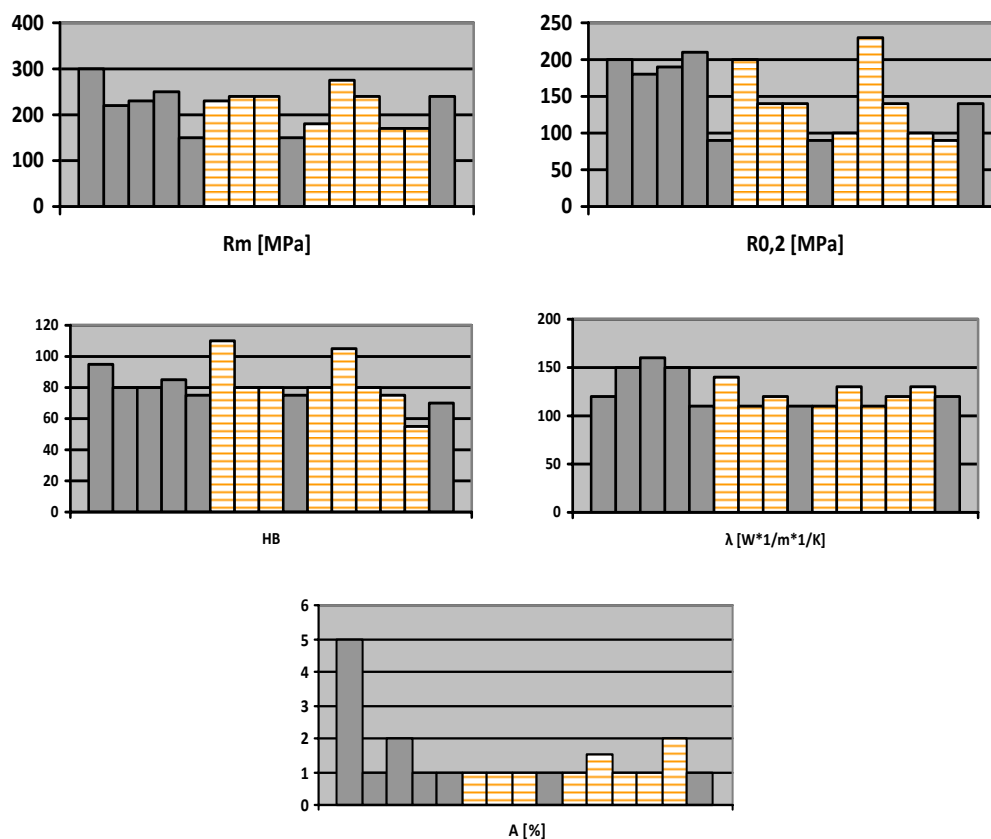


Rys. 1. Porównanie własności żeliw stopowych, wybranych do opracowania programu

Tablica 3.

Własności żeliw stopowych wybranych do programu komputerowego

| Żeliwo stopowe | Własność             |                        |       |     |                        |
|----------------|----------------------|------------------------|-------|-----|------------------------|
|                | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>0,2</sub> [MPa] | A [%] | HB  | P [g*cm <sup>3</sup> ] |
| ZINi15Cu6Cr28  | 170                  | 260                    | 2     | 140 | 7,4                    |
| ZsNi20Cr3      | 390                  | 212                    | 7     | 150 | 7,4                    |
| ZINi           | 260                  | 260                    | 8     | 180 | 7,1                    |
| ZINi1,8Cr      | 290                  | 260                    | 8     | 215 | 7,5                    |
| ZsNi0,8CuCr    | 500                  | 400                    | 1     | 270 | 7,3                    |
| ZICu1,0        | 230                  | 260                    | 7     | 260 | 7,3                    |
| ZICu1,6        | 250                  | 260                    | 8     | 270 | 7,3                    |
| ZITiV          | 150                  | 260                    | 7     | 260 | 7,3                    |



Rys. 2. Porównanie własności odlewniczych stopów aluminium, wybranych do opracowania programu

Tablica 4.

Własności odlewniczych stopów aluminium wybranych do programu komputerowego

| Stop aluminium         | Własność             |                        |       |     |               |
|------------------------|----------------------|------------------------|-------|-----|---------------|
|                        | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>0,2</sub> [MPa] | A [%] | HB  | λ [W*1/m*1/K] |
| EN AC-AlSi5Cu1Mg       | 230                  | 200                    | 1     | 110 | 140           |
| EN AC-AlSi9Cu3(Fe)     | 240                  | 140                    | 1     | 80  | 110           |
| EN AC-AlSi11Cu2(Fe)    | 240                  | 140                    | 1     | 80  | 120           |
| EN AC-AlSi7Cu3Mg       | 180                  | 100                    | 1     | 80  | 110           |
| EN AC-AlSi9Cu1Mg       | 275                  | 230                    | 1,5   | 105 | 130           |
| EN AC-AlSi9Cu3(Fe)(Zn) | 240                  | 140                    | 1     | 80  | 110           |
| EN AC-AlSi7Cu2         | 175                  | 100                    | 1     | 75  | 120           |
| EN AC-AlSi12(Cu)       | 175                  | 90                     | 2     | 55  | 130           |

### 2.3. Program komputerowy do wspomagania doboru materiałów inżynierskich, stosowanych do budowy wybranych elementów tłokowego silnika spalinowego

Program napisano w języku C++, w środowisku programistycznym Visual C++ Express Edition 2008 wyprodukowanym przez Microsoft Corporation. Język C++ jest jednym z najbardziej popularnych języków programowania. Można w nim wykonywać zarówno proste programy, jak i bardzo skomplikowane aplikacje, również systemy operacyjne. Język

ten cały czas się rozwija a na jego podstawie powstają kolejne. Powstał on w latach siedemdziesiątych XX wieku a jego twórcą jest Bjarne Stroustrup. Nazwa C++ została użyta po raz pierwszy w 1983 roku.

Do najważniejszych zalet języka C++ należą:

- nowoczesność oraz posiadanie wielu mechanizmów znajdujących się w innych językach programowania,
- ogromne możliwości pisania zróżnicowanych aplikacji,
- uniwersalność oraz zgodność z różnymi systemami operacyjnymi,
- szybkość działania programów napisanych w tym języku [9].

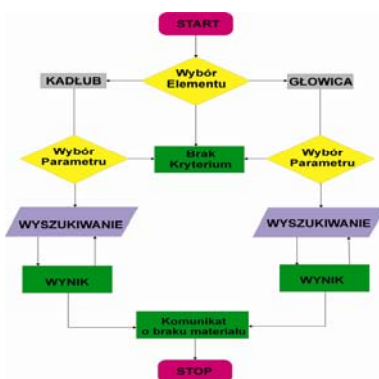
Visual C++ Express Edition 2008 jest bezpłatnym (również do użytku komercyjnego) narzędziem służącym do tworzenia bibliotek, klas, aplikacji konsolowych i okienkowych w języku C++. Środowisko to zawiera wizualny edytor z wieloma wbudowanymi kontrolkami, rozbudowany edytor kodu, system inteligentnych podpowiedzi oraz debugger. Jest w pełni zintegrowane z Microsoft Server 2005. Wersja Express jest bezpłatną edycją komercyjnego pakietu Visual Studio 2008, przeznaczona dla studentów, hobbystów oraz wszystkich rozpoczynających przygodę z programowaniem. Cechuje ją modułowa budowa oraz dostosowanie do początkujących programistów przy jednoczesnym zachowaniu wszystkich najważniejszych cech pełnej wersji Visual Studio 2008.

Główne funkcje i zalety Visual C++ Express Edition 2008:

- wizualny edytor zawierający ponad setkę wbudowanych kontrolerek i opcję tworzenia własnych,
- rozbudowany edytor kodu (kolorowanie składni, opcje edycyjne),
- IntelliSense: podpowiadanie składni, inteligentne kończenie fragmentów kodu, szablony kodu, weryfikacja spójności kodu na żywo, analiza zmiennych itp.,
- w pełni funkcjonalny debugger,
- pełna integracja z SQL Server 2005 ("przeciągnij i puść", zarządzanie bazą z poziomu Visual Studio),
- zintegrowana pomoc kontekstowa online i offline [10].

### Budowa programu

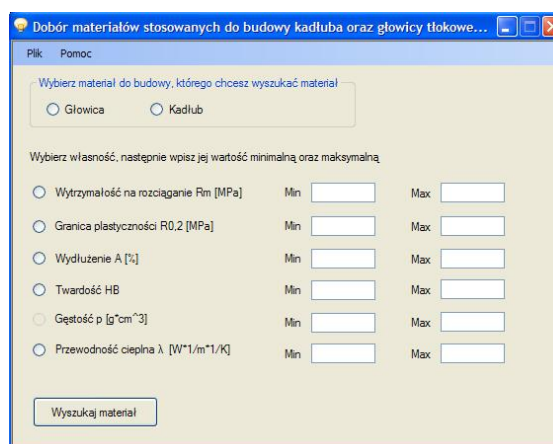
Na rys. 3 przedstawiono schemat blokowy programu, wspomagającego dobór materiałów inżynierskich, stosowanych do budowy wybranych elementów tłokowego silnika spalinowego. Prezentuje on kolejne czynności, jakie wykonuje program w przyjętym algorytmie.



Rys. 3. Schemat blokowy programu

### Zasada działania programu

Na rys. 4 przedstawiono okno programu wraz z menu głównym. Pojawia się ono natychmiast po uruchomieniu programu. Menu główne zawiera wszystkie opcje potrzebne do wyszukania żadanego materiału, stosowanego do budowy konkretnego elementu.



Rys. 4. Okno główne programu

Żeby rozpocząć pracę z programem, należy w pierwszej kolejności wybrać element, na który chcemy dobrać materiał. Następnie, spośród pięciu własności, należy wybrać jedną, według której program ma wyszukiwać materiał. Po wybraniu interesującej nas własności, według której program ma wyszukiwać materiał, należy w polach „Min” oraz „Max” wpisać minimalną oraz maksymalną wartość interesującej użytkownika własności, którą cechuje żądany materiał.

Po wybraniu interesującego nas elementu, na który chcemy dobrać materiał, zaznaczeniu własności, według których chcemy żeby program szukał materiału oraz wpisaniu wartości minimalnej oraz maksymalnej, należy kliknąć w pole „Wyszukaj materiał”.

Po wykonaniu wyżej wymienionych operacji program wyświetla nowe okno z nazwą wyszukanego materiału.

Po kliknięciu w pole „OK”, zostanie wyświetlone kolejne okno z nazwą następnego materiału, spełniającego wymienione wcześniej co do niego wymagania lub wyświetli okno z informacją „Nie znaleziono” w przypadku braku kolejnego spełniającego te wymagania materiału.

### 3. PODSUMOWANIE

Ze względu na szeroką gamę stosowanych obecnie materiałów, niezbędny jest ich poprawny dobór na elementy funkcjonalne oraz konstrukcyjne oraz ich optymalizacja. Przedstawiony w pracy program komputerowy, służący do wspomaganie doboru materiałów inżynierskich, jest przykładem rozwiązania informatycznego dla przemysłu. Należy podkreślić, że opracowana aplikacja jest jedynie przykładem zastosowania programu komputerowego we wspomaganie doboru materiałów a jej struktura umożliwia dowolną rozbudowę o kolejne podzespoły tłokowego silnika spalinowego wraz z ich dowolnymi własnościami.

W dzisiejszych czasach ogromny nacisk kładziony jest na optymalizację produkcji oraz redukcję jej kosztów. Rozwiązania IT stosowane przy projektowaniu elementów funkcjonalnych oraz konstrukcyjnych pozwalają w prosty sposób osiągnąć zarówno jedno jak i drugie, często przyczyniając się także do eliminacji ludzkich błędów. Dlatego bardzo ważne jest opracowywanie coraz doskonalszych aplikacji komputerowych, które w sposób nowoczesny wspomagają dobór materiałów inżynierskich.

Jest to także efektywny program z punktu widzenia dydaktycznego. Pozwala on studentom specjalizującym się w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych realizującym przedmioty takie, jak: Język Programowania, Zasady Doboru Materiałów Inżynierskich, Komputerowe Wspomaganie Doboru Materiałów, Komputerowe Wspomaganie Nauczania czy Komputerowe Wspomaganie w Dydaktyce, zaznajomić się z budową programu napisanego w języku C++, poznać podstawowe zależności doboru materiałów inżynierskich a także pracować na przykładowym, nowoczesnym rozwiązaniu informatycznym, wspomagającym projektowanie podzespołów tłokowego silnika spalinowego.

Opracowany program komputerowy jest przystosowany do aplikacji na stronach internetowych Platformy e-learning Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, która w celach szkoleniowych wykorzystuje wszelkie dostępne media elektroniczne. Platforma e-learning Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych jest nowoczesnym narzędziem umożliwiającym kształcenie na odległość. Przygotowana pomoc dydaktyczna w postaci programu komputerowego pozwoli na wzbogacenie bazy platformy o informacje z zakresu zagadnień doboru materiałów oraz rozwiązań technologicznych i materiałowych w nowoczesnych silnikach spalinowych.

## LITERATURA

1. S. Luft, Podstawy budowy silników, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2003.
2. J.A. Wajand, J.T. Wajand, Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybko obrotowe, WN-T, Warszawa, 2005.
3. A. Urysz, Współczesne silniki samochodowe, Skrypty uczelniane nr 1868, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1994.
4. M. Bernhardt, S. Dobrzyński, E. Loth, Silniki samochodowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1988.
5. J. Jeziński, Technologia tłokowych silników wysokoprężnych, WN-T, Warszawa, 1999.
6. L.A. Dobrzański, Zasady doboru materiałów inżynierskich z kartami charakterystyk, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.
7. L.A. Dobrzańskiego (Ed.), Leksykon Materiałoznawstwa, Verlag Dashofer, Warszawa, 2005.
8. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WN-T, Gliwice, 2002.
9. <http://www.ithelpdesk.pl>
10. <http://microsoft.com>